衛星データを用いて地球を観測しよう

ー人工衛星データを利用したリモートセンシングー

本教材は宇宙とのつながりを軸として科学を身近に感じてもらうために作った科学教材です。本教材の利用による事故等については一切責任を持ちかねますので、本教材の利用は、経験のある指導者の指導の下に行って下さい。

●教材提供●
日本宇宙少年団
苫小牧分団　藤島豊久氏

2012 年 4 月 1 日　発行

目標とねらい

子どもたちに、「だいち」や「ランドサット」などのような各種人工衛星データの活用によるソフトウェアの操作･光学基礎･地図の理解などを学んでもらい、これらのデータを子どもたちの身近なものとすることによって、将来宇宙関連はもとよりそれ以外の分野にも広く進出できる人材育成を目指し、社会の様々な分野での人工衛星利用の可能性が広がることを期待します。

また、子どもたちが地球観測衛星のデータを利用して地球の状況や宇宙の歴史・環境を知ることで、自分たちの住む地球を広い視野で理解することを目標とします。

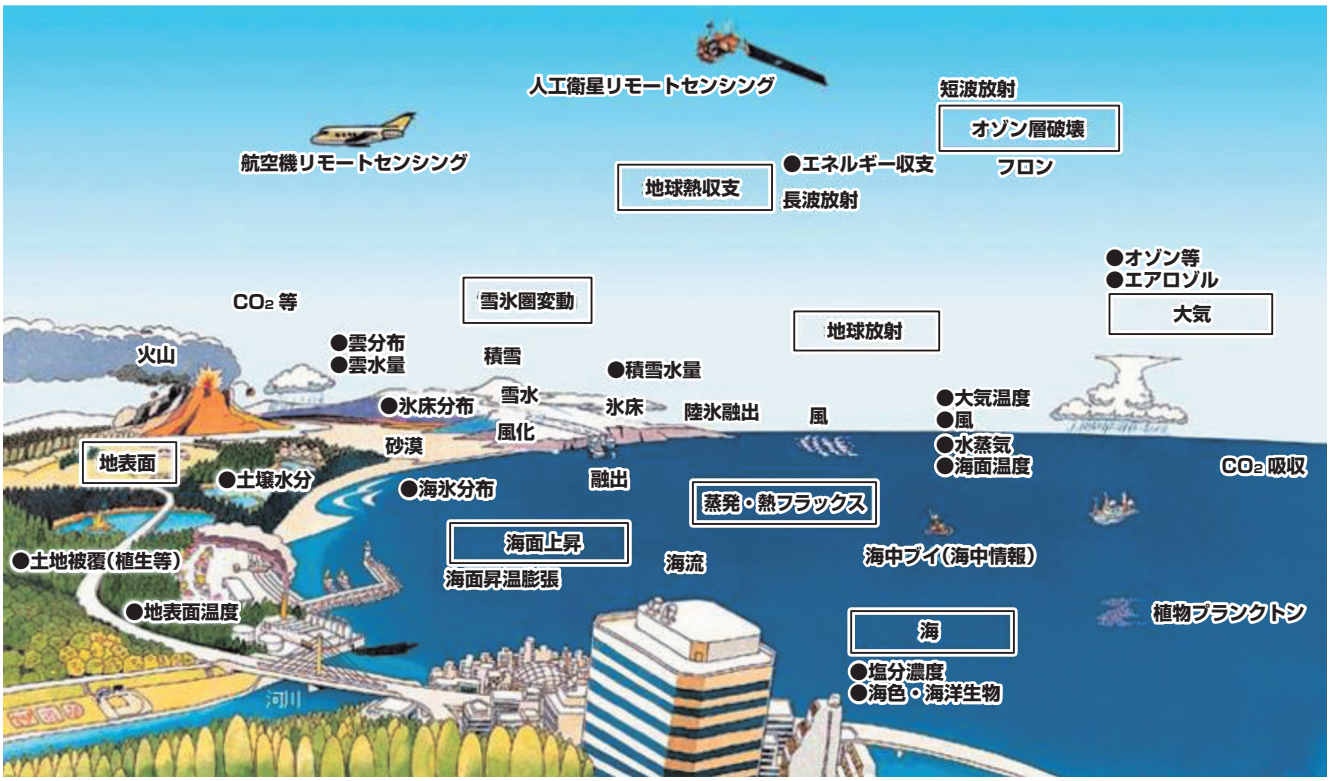
さらには、ほんもの体験をすることにより興味関心だけでなく、新学習指導要領による「科学的に探究する能力の基礎と態度を育てる」事ができます。

対象学年	小学校高学年以上 （指導者自身の基礎知識が必要なので、参考文献を熟知の上指導して下さい）	所要時間	2～3時間

●材料と道具

パソコン：OS　Windows XP、Windows Vista、Windows 7
通信回線：インターネット回線（大容量データのダウンロードができること）
人工衛星解析ソフトウェア：【EISEI】Windows XP、Windows Vista、Windows7
Windows XP の場合は別途 Net Framework（2.0 ～ 3.5）が必要
【SatelliteEye】Windows XP、WindowsVista、Windows7、Windows8
人工衛星データ：無料サンプル掲載ホームページ（参考ページ参照）
簡易分光器：活動教材集参照
いろ・色パレット：http://eisei-data.jp/contest
光源（R、G、B）：http://eisei-data.jp/contest
GPS で宝探し：活動教材集参照
その他資料：参考ページ参照

1　リモートセンシングとは

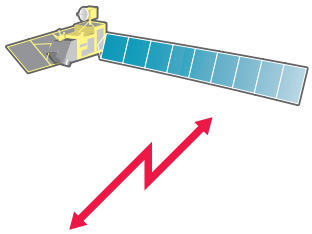


リモートセンシングとは、物体を直接測定器などの機器によって調査することとは異なり、物に触らずに離れた場所から調査することを言い、上図は代表的なリモートセンシングの例を表しています。

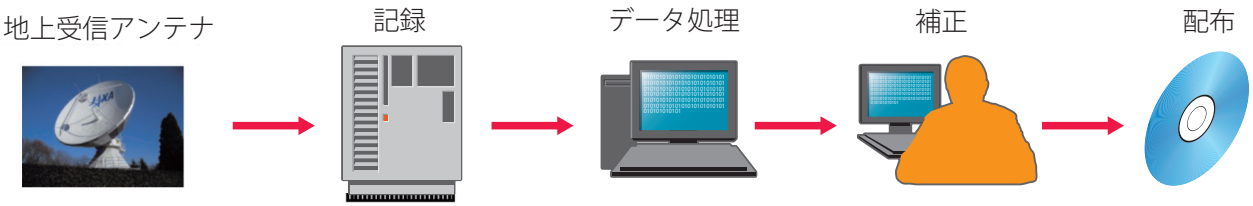
航空機によるリモートセンシングは人工衛星によるものとは異なり詳細なデータを取得できますが、気象条件によってはリアルタイムな情報を得られない場合や、航空機の高度が低いため狭い範囲の測定となります。

一方、人工衛星によるリモートセンシングはオゾン層の破壊や CO_2 の測定などの空気中の成分の測定や、地表面温度、海面温度、植生、災害現場の把握など一度に広範囲の測定が可能です。また、世界中どこでも定期的に長期的に観測ができます。

2　地球観測からデータの提供まで



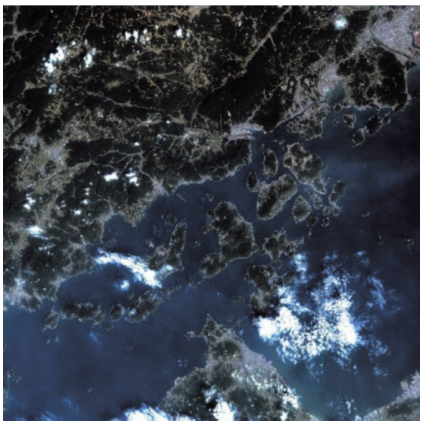
地球観測衛星は永遠に地球上を周回しているのではなく、地上の運用局によって軌道の維持や機器の保守などを管理されています。また、受信局によるデータの受信や記録、補正したデータの提供等を行います。図は人工衛星から受信したデータを地上受信アンテナで受信した後、データ処理を行いフォーマット後に画像として蓄積し、様々な補正を加え、記録媒体として提供するまでを示しています。



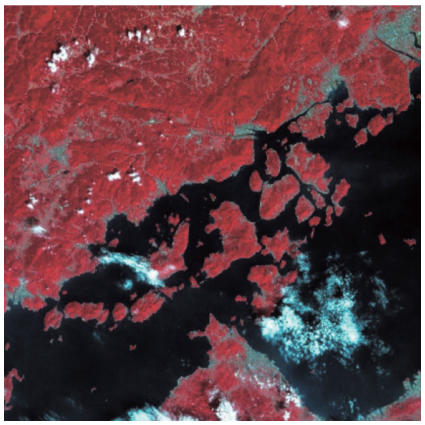
受信局でのデータ作成の流れ

3　人工衛星画像の紹介

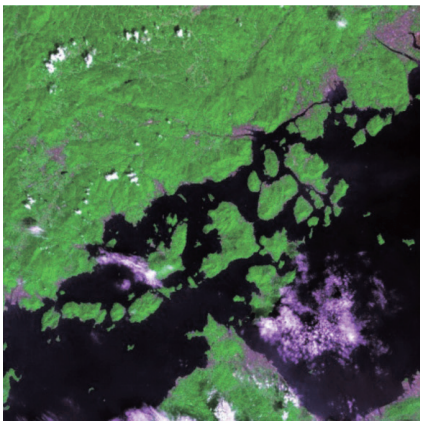
下の画像は広島県呉市付近です。日本が打ち上げた「だいち」という人工衛星に搭載されたセンサーで測定し、データとして送ってきたものですが、それらを地上で補正したものです。



トゥルーカラー



フォルスカラー

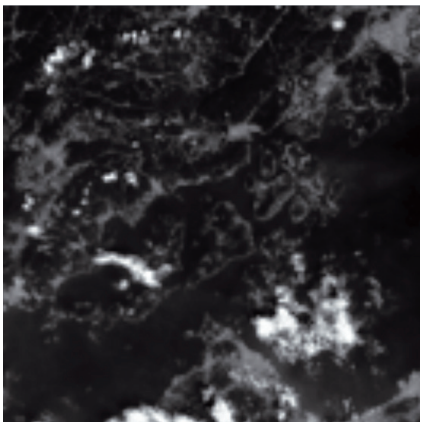


ナチュラルカラー

左の画像は人間の目で見たときに近い色（トゥルーカラー）で表しています。瀬戸内海は海の色があざやかに見え、陸地は深い森の部分が濃い緑、平地部はやや褐色がかって見えます。

中央の画像はフォルスカラーと呼び、植物が元気であれば濃い赤になりますが市街地等は褐色となり植物の少ないことがわかります。近年では農業分野に利用され、稲の収穫時期や植物の成育情報の分析などに利用されています。

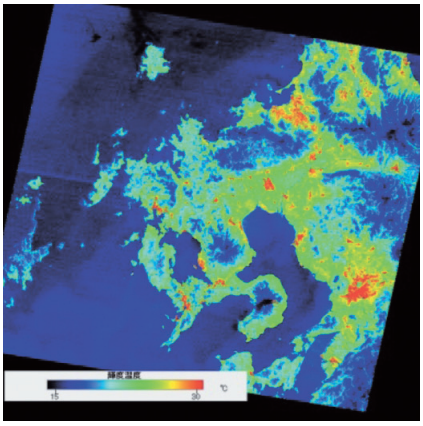
右の画像はナチュラルカラーと呼び、元気な植物は濃い緑色となり、ゴルフ場などの芝面では薄い黄緑色となります。海のような水域では深い藍色や黒く写るため、ため池などの調査に適しています。どの画像にも瀬戸内海に白っぽく写っているのは雲の画像です。



近赤外線バンド

「ランドサット」や「だいち」はセンサーに近赤外線バンドを持っています（バンド４）。画像をフォルスカラーやナチュラルカラーで表す場合、近赤外線バンドを合成します。

このバンドは水の部分では吸収しやすいため暗く見え、植物では反射が強くなり明るく見えます。バンド２やバンド３と合成することにより緑色や赤色が強調されます。



LANDSAT 衛星　Band6

左の画像は「ランドサット」衛星が観測した九州西部付近の温度情報を表しています（バンド６）。海水温は低く、陸域と比べ濃い青で表され、平地では赤や黄、黄緑色となり海水温と比べ高くなっていることがわかります。陸域の中央付近は濃い青で表されていますが、高い山なので平地と比べ温度が低くなっています。また、特に赤い箇所は市街地に見られアスファルトや建物の屋根などによるものですが、普賢岳などの活火山も地表の温度が高いのでより赤く表されます。

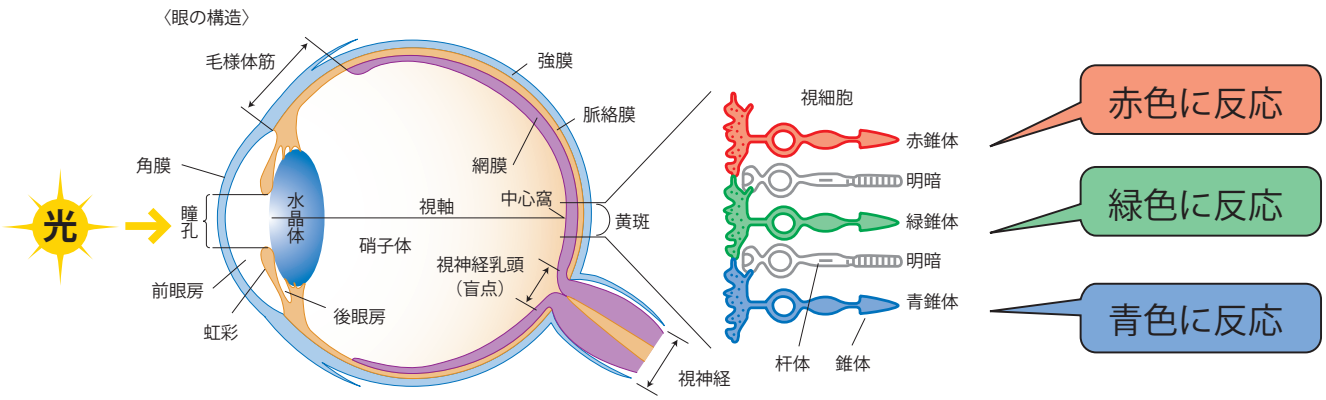
人工衛星は地上約 700km の宇宙空間からでも地上と同じように観測できるので広範囲に観測することができ、暖流と寒流の境や海流の様子などがわかります。

4　センサーとバンド

(1) 光と目

私たちが普段感じている光は太陽の光が物体に反射して識別（色や形）できますが、夜間、太陽光の当たらない暗闇では灰色がかったり真っ暗で何も見えない状態となります。人間の眼は赤や緑、青に反応する錐体、弱い光に反応する杆体が、光に反応し視神経に伝えます。

人工衛星の場合も同じで青、緑、赤の３色のセンサーを持っていればカラー画像を得られます。パソコンやテレビのディスプレイがその応用となります。



(2)「ランドサット」衛星

下記の表は米国で打ち上げた「ランドサット」の情報です。新たに打ち上げられた人工衛星ではバンド数が増えていることと、高度の違いから回帰日数や解像度の違いがわかります。

人工衛星名	観測バンド数	打上げ日	運用終了日	高度	搭載センサー	回帰日数	解像度
LANDSAT-1	4	1972.07.23	1978.01.06	917km	RBV/MSS	18日	80/80m
LANDSAT-2	4	1975.01.22	1978.01.06	917km	RBV/MSS	18日	80/80m
LANDSAT-3	4	1978.03.05	1983.03.31	917km	RBV/MSS	18日	40/80m
LANDSAT-4	7	1982.07.16	2001.06.15	705km	MSS/TM	16日	80/30m
LANDSAT-5	7	1984.03.01	運用中	705km	MSS/TM	16日	80/30m
LANDSAT-6	7	1993.10.05	—	軌道投入失敗			
LANDSAT-7	8	1999.04.15	運用中	705 km	ETM+	16日	30/15m

LANDSAT　TM のバンド表

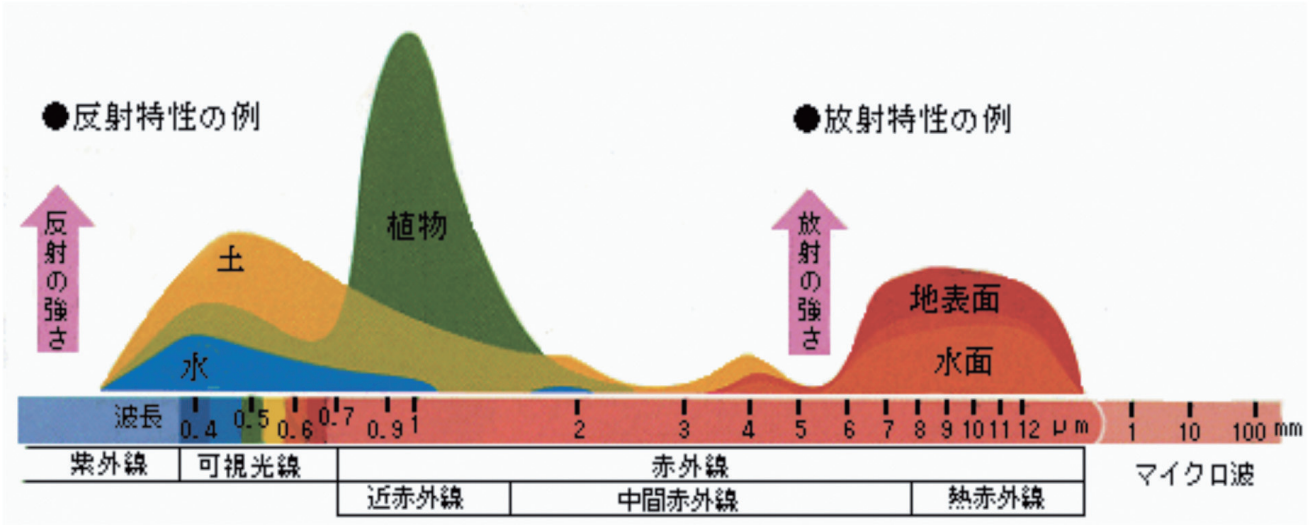
バンド	観測波長帯	地表分解能	観測幅	観測項目
1	0.45～0.52 μm	30m	185×185km	沿岸水
2	0.52～0.60 μm			植物活性
3	0.63～0.69 μm			クロロフィル吸収
4	0.72～0.90 μm			バイオマス、水塊
5	1.55～1.75 μm			植物水分、雪、雲区別
7	2.08～2.35 μm			熱水変質岩
6	10.40～12.50 μm	120m		地表面、海面温度

バンド１は沿岸水、バンド２は植物の活性度、バンド３は植物のクロロフィル吸収、バンド４はバイオマスや水塊の分布、バンド５は植物の水分、雪と雲の区別、バンド６は温度のマッピング、バンド７は地表面や海面を解析する場合に用いられます。

(3) 波長帯と対象物の反射・放射特性

地球上の物体は波長帯ごとに反射や放射の強さの違いがあります。リモートセンシングでは青、緑、赤、近赤外線、熱赤外線、マイクロ波を利用します。

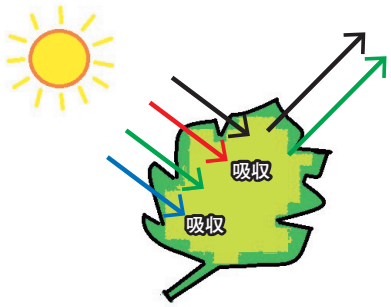
「ランドサット」TM 5では、バンド 1 ～バンド 7 を使用しています。バンド 1 ～バンド 4 は(0.45 ～ 0.90 μm)主に植生などを解析、バンド 5 と 7 は（1.55 ～ 1.75 μm、2.08 ～ 2.35 μm）土や植物の水分、バンド 6 は（10.4 ～ 12.50 μm）放射熱を利用し地球上の温度の解析に使用されます。



※ 1 μm = 1/1,000 mm

葉っぱは緑色の光を反射するので緑色に見えます。また、近赤外線は強く反射します。一方で葉緑素を使って青色と赤色を吸収し、光合成を行います。

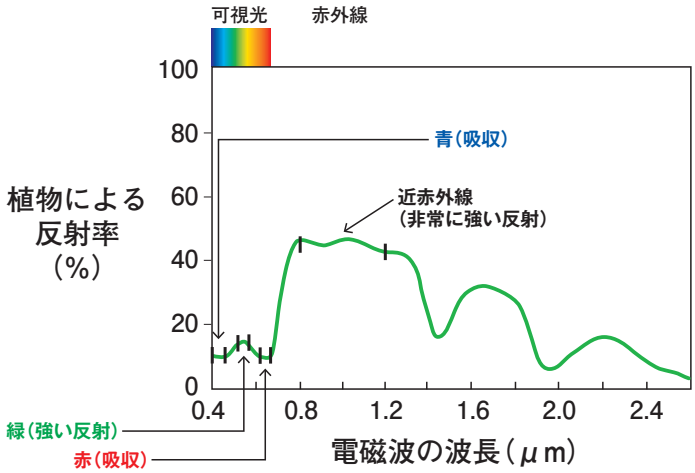
この性質を利用し、葉っぱに反射する近赤外線と赤色を合成して植物の状況を把握するのがフォルスカラーです。



近赤外＝強い反射

緑＝反射

反射するとエネルギーを取り込めない

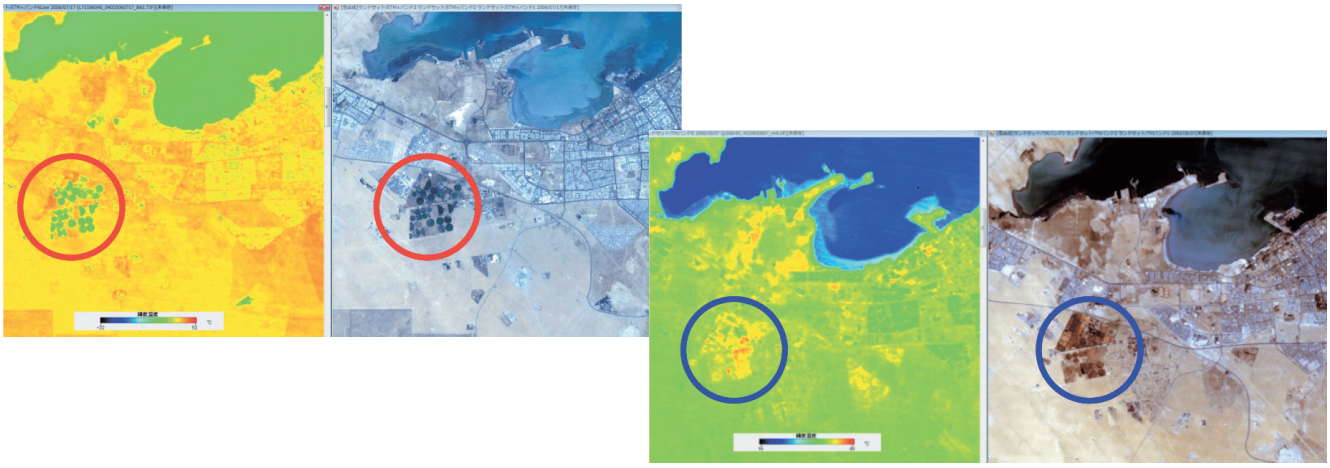


左の図は縦軸に植物による反射率、横軸には電磁波の波長（μm）を表したものです。近赤外線の波長領域である 0.8 ～ 1.2（μm）が非常に強く反射していることがわかります。

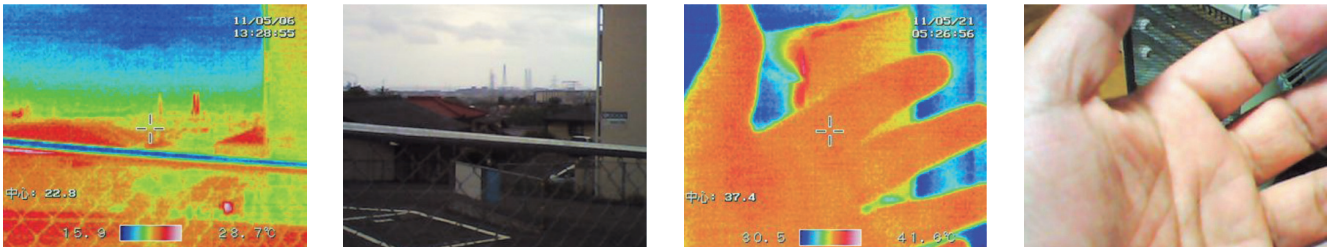
（4）熱赤外線バンド

ランドサットには（バンド６）熱赤外を感知するセンサーが搭載されています。熱赤外は過去のデータを見ることにより陸域では地表温度、特に市街地のヒートアイランド現象を比較することができます。また、火山活動や季節変化による植物の状態、海域では海水温から漁場の情報提供などが行われています。

下の左側の画像は 2006 年７月 17 日、世界第２位の産油国クウェートの画像（バンド６）です。日本と違い海水や地表の温度が大きく違うことがわかります。また、赤丸円内には円形農場があり、周囲の地表面（土漠）と違い温度が低く、海水温とほぼ同じことがわかります。一方で青丸円内に見られるように農場の作物が育っていない場合は、周囲の温度より高くなっていることがわかります。アマゾンの熱帯雨林の森林破壊は、必要以上の焼畑や伐採により、今なお破壊が進んでいます。生物が生きていくために必要な酸素を作り出す大きな働きが失われつつあります。



下の写真の左側はサーモグラフィーカメラで撮影したものですが、上述した人工衛星画像（バンド６）とよく似ているカラーです。測定波長の違いはありますがどちらも熱赤外領域のバンドを使用していますので、原理は同じです。（人工衛星 10.40 ～ 12.50 μm、カメラ８～ 13 μm）

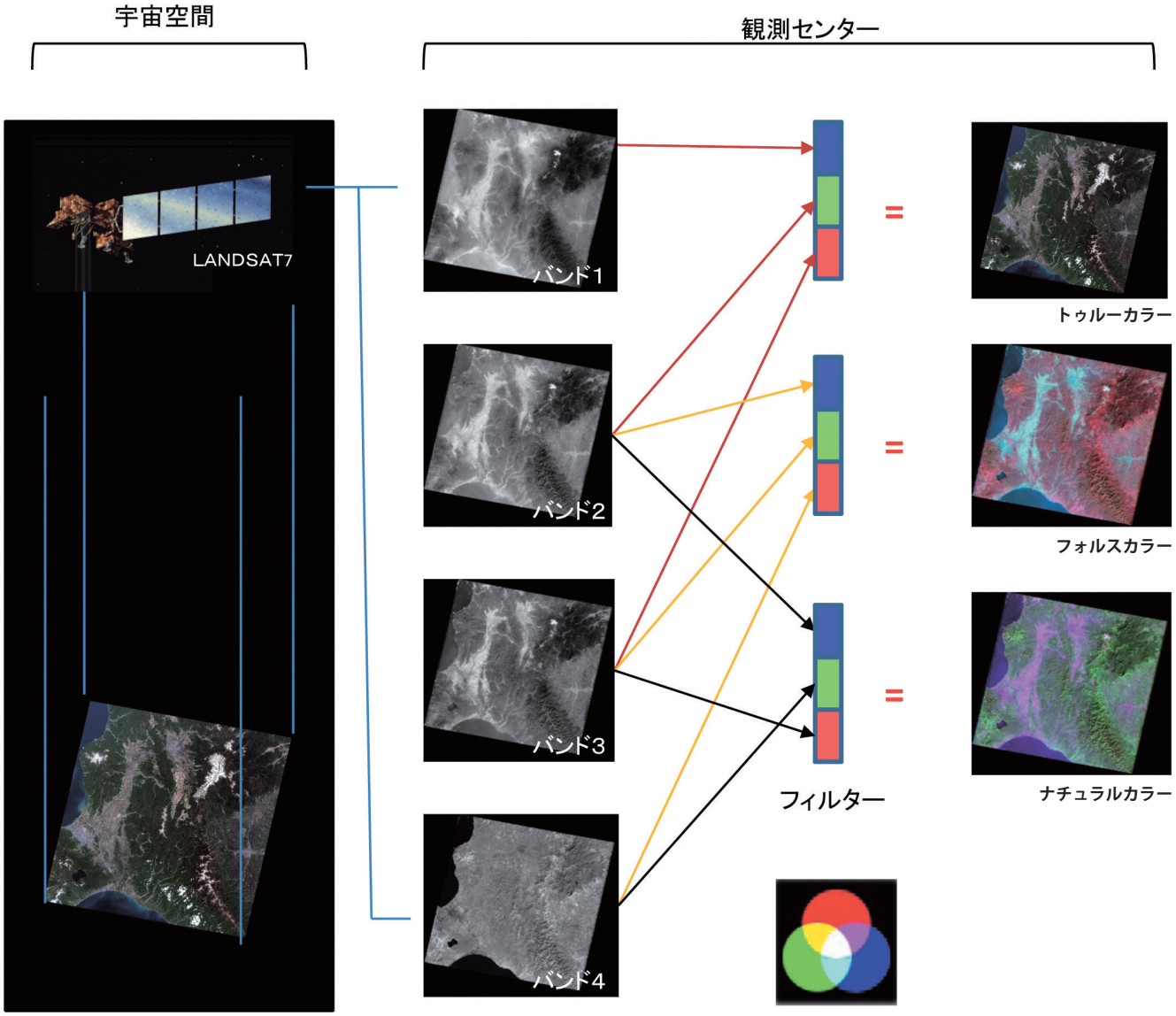


バンド４は近赤外領域ですが、赤外線フィルター（波長 0.76 μm 以上の光を通すフィルター）とデジタルカメラを利用して人工衛星画像と同じような写真を作成することができます。

赤外線写真　　可視光写真　　赤外線写真（左使用ランプは LED）　　可視光写真

使用フィルター：富士フィルム　IR76（7.5cm×10cm 程度）　**撮影する場合は、太陽を直接目で見ないこと**

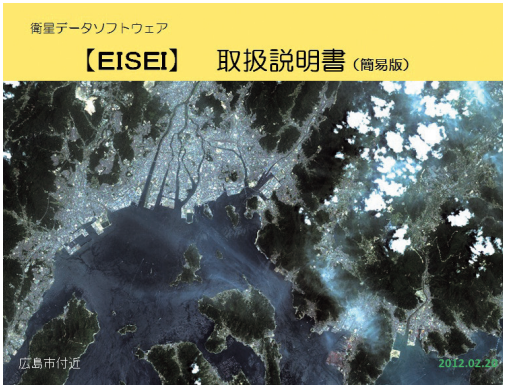
5　画像の合成



人工衛星から送られてくる画像はバンド１～４のように見た目はカラー画像ではなく、決められた波長で観測した画像となるのでモノトーン（グレースケール）で見えます。地上で様々な解析を行う場合、例えばバンド１～３を茶色線のように重ねると（合成）トゥルーカラーが出来ます。バンド１～３はそれぞれ赤（R）緑（G）青（B）のフィルターを通して観測した画像を合成した結果、私たちの目で見たものに近い画像が現れます。バンド４は赤外線という電磁波で観測した画像ですが、このバンド４を重ねることによって目で見た画像に近い画像（トゥルーカラー画像）だけではわからなかったことも発見しやすくなります。その代表的なものがフォルスカラーやナチュラルカラーです。フォルスカラーは黄色線のように重ねると出来ます。植物の活性度を調査する場合などに利用されます。ナチュラルカラーは黒色のように重ねると出来ます。健康な植物は明るい緑色に見えるので市街地と植物領域の境界がはっきりし、トゥルーカラーで見るよりも湖沼や河川、海が濃く見えるので水域などの調査に利用されます。

6　人工衛星データ解析ソフトの紹介

本文の説明で紹介する専用ソフト、【EISEI】の詳しい取扱につきましては（財）日本宇宙少年団のホームページを参照して下さい。（付録）



【EISEI】のサポートするファイル形式
読み込める画像形式：
ALOS/PRISM L1B2R、L1B2G（UTM 座標系のみ）
ALOS/AVNIR-2 L1B2R、L1B2G（UTM 座標系のみ）
ALOS/PALSAR L1.5（UTM 座標系のみ）
GOSAT/CAI L1B+
Landsat/MMS、TM、ETM+ GLCF プロダクト
ASTER/GDEM
JPEG
PNG
Windows Bitmap

保存出来る画像形式：
GeoTIFF
JPEG
PNG
Windows Bitmap

主な機能
画像の拡大･縮小、複数の画像を並べて表示、表示の連動、縮尺表示、輝度温度バー表示、バンド間演算（植生指数）、レベルスライス、色合成、色・明るさ調整、切出し保存、印刷

本文の説明で紹介する専用ソフト、【SatelliteEye】の詳しい取扱につきましては（財）日本宇宙少年団のホームページを参照して下さい。

※このほかに、簡易閲覧版として
SatImage Viewer というソフトもあります。

【SatelliteEye】のサポートするファイル形式
読み込める画像形式：
TIFF：R8G8B8 非圧縮、8 ビット白黒非圧縮
LANDSAT：上記と同じ TIFF 形式
BMP：BCB のライブラリに依存
JPEG：BCB のライブラリに依存
AVNIR2：CEOS 形式　レベル 1B2
PRISM：CEOS 形式　レベル 1B2
R10：REMO10 用の一部の BIL や BSQ

保存出来る画像形式：Windows Bitmap

主な機能
画像の拡大･縮小、複数の画像を並べて表示、表示の連動、温度分布、温度バー表示、植生指票、色合成、色･明るさ調整、画像間演算、保存

科学する心を育てよう

人工衛星データを解析して学習に役立てるという試みは、誰もが「難しいのでは？」と考えるでしょう。小学校の理科や社会科の単元では人工衛星の仕組みと共通である基礎の一部を取り入れていますが、それだけでは実際には人工衛星学習には結びつきません。この学習は第一に、子どもたちに興味を持ってもらうことから始めなければなりませんが、どうしても難しい理論を理解しなければ先へ進めない箇所があります。あきらめてしまうのではなく、導入教材を利用し人工衛星の機能との理論上の結びつきを理解させることが大切なことです。また、多くの小学生が高学年からパソコンを使用しているのでデータの解析学習は興味をそそることでしょう。就学前の子どもが保護者に「太郎君はまだ早いよ」といわれても、マウスから手を離さないで一心にディスプレイをのぞき込んで、画像の面白さにのめり込んでいるところを見たことがあります。鮮明な画像や世界中の画像が見えることは好奇心から学習への誘い水ともなっています。しかし、これだけでは単に画像を見るだけで終わってしまい、しばらく画面に向かっていると飽きてしまい本来の目指すところへは進みません。

そこで専用ソフトを操作し、選んだ人工衛星画像の特徴を自ら発見し、疑問に思ったことを考え、画像の背景を解いていかなければなりませんが、そのためにはやはり基礎が必要となります。研究者が実施していることを学ぶために、どうしても導入教材が必要になります。そこで導入教材を利用しながらどのように学習を進めていけばよいのかを、以下にまとめてみました。

（1）難しいという意識を取り除くためには

基礎学習から始めるのではなく画像が持つ面白さから紹介する。年齢にもよるがソフトウェアの操作から始めてもよいのです。（実習）

例えば低学年では

① Google earth を利用し世界中の場所を調べる。

②人工衛星画像を利用し、同一箇所で年代の異なる画像を比較し、どの場所がどのように変化したかを調べる。

③地球環境を話し合う。

例えば高学年では

① Google earth を利用し世界中の場所を調べ、疑問に感じたところの人工衛星画像を入手し解析する。

②同一箇所で年代の異なる画像を比較し、どの場所がどのように変化したかを調べ何故そのようになったのか原因を調査する。場合によっては現地に出向きフィールドワークを行う。

（2）人工衛星画像の違いを知る

Google earth は解像度が良く乗用車程度の大きさであればその有無が確認できますが、あまり解像度の高くない人工衛星画像は敬遠されてしまいます。しかし、Google earth が可視光であるのに対し、「ランドサット」や「だいち」の画像は他のバンド帯域の画像情報を持っています。こちらの画像では見えにくいがこちらの画像なら見えやすい。あるいは画像を解析すると可視光ではわからなかったものが見えてくる、といった具合です。それぞれのセンサーや画像が持っている特徴を理解した上で利用するのがよいでしょう。

（3）導入教材の利用

導入教材は基礎を補うにはかかせない材料です。人工衛星学習では大人さえもが〝難しいのでは〟という気持ちが先行してしまいます。興味を持たせたり難しい理論や仕組みを説明する上での手助けにもなります。

例えば

①波長（バンド）では「簡易分光器」を製作しいろいろな光を分光実験する。または光の概念を知る上で色合成をするために「色・いろパレット」を製作する。

②赤外線では「赤外線フィルター」を応用し、デジカメで撮った画像を合成したり、サーモ

グラフィーカメラを利用し、地上でも人工衛星と同じような画像を得られることを実験します。
③様々な画像の解析例を挙げ、解析の面白さを体験してもらいます。

（4）画像解析

導入教材として様々な解析例を紹介するのも必要ですが、子どもたちが自ら発見し疑問に思った場所や気づいた場所をパソコンを使って解析することの楽しさは、とても大切なことです。地理で学んだことをもう一度画像で確認したり、自然や歴史からその国の出来事を知るきっかけにもなります。

参考 関係機関や関連教材の紹介

1. 人工衛星データ解析ソフトの入手先

ホームページ上にはいろいろな解析ソフトがありますがここでは教育に役立てていただく主旨から製作者のご了解を得てご紹介します。

（1）「Satellite Eye」
Satellite Eye 取扱説明書

（2）「EISEI」
EISEI 取扱説明書（簡易版）
上記はいずれも財団法人日本宇宙少年団（YAC）のホームページ（http://eisei-data.jp/contest/）で入手できます。

2. サンプルデータ入手先

ホームページ上からサンプルデータを取得できる機関を紹介します。

・財団法人　日本宇宙少年団（YAC）http://eisei-data.jp （期間限定）
・リモートセンシング技術センター（RESTEC）　http://www.alos-restec.jp/staticpages/index.php/service-sampledata/
・地球観測研究センター（EORC）　http://www.eorc.jaxa.jp/imgdata/publication/eorc_cd_dvd-rom.html

3. 無料で入手できる「ランドサット」のデータ

下記サイトで米国が打ち上げた「ランドサット」衛星から送られた画像を入手できます。

・米国メリーランド大学　http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp
・「ランドサット」画像データ ダウンロード取扱説明書　http://eisei-data.jp/analysis/landsat.html

4. 有料で入手する場合の主なホームページ

・株式会社　パスコ　http://www.pasco.co.jp
・一般財団法人リモート・センシング技術センター　http://www.restec.or.jp
・地球観測研究センター　http://www.eorc.jaxa.jp

5. 日本の主な宇宙機関のホームページ

・宇宙航空研究開発機構（JAXA）　http://www.jaxa.jp/
・地球観測研究センター（キッズ）　http://www.eorc.jaxa.jp/kids/index.html
・宇宙科学研究所（キッズ）　http://www.kids.isas.jaxa.jp

6. 参考ホームページ例

・人工衛星データを使った体験学習プログラム　http://eisei-data.jp

・画像を駆使した漁場探索　http://www.sof.or.jp/jp/news/201-250/230_2.php
・気象庁・過去の気象データ　http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/
・夜の地球　http://agora.ex.nii.ac.jp/~kitamoto/research/rs/world-lights.html.ja
・不法投棄を監視する　http://www.nies.go.jp/sympo/2002/pos/04.pdf
・自然と生態系　http://www.eorc.jaxa.jp/hatoyama/experience/library
http://www.eorc.jaxa.jp/imgdata/topics/2004/tp040213.html

7.　導入教材　http://www.eisei-data.jp/development/composition.html

・人工衛星データ学習シート
・光の３原色で色を合成してみよう　「色・いろパレットの製作」
・光を分光しよう「簡易分光器の製作」
・GPS を体験しよう、GPS で地球の大きさを測ろう
・人工衛星をよく知ろう「人工衛星は何故落ちないの」

キーワード	センサー（リモートセンシング）、人工衛星解析ソフト、人工衛星画像のダウンロード、バンド、赤外線、軌道、観測幅、人工衛星写真・航空写真、分解能、トゥルーカラー・フォルスカラー・ナチュラルカラー、植生指標、分光、季節変化・経年変化、 R（赤）、G（緑）、B（青）、色合成、だいち・ランドサット、導入教材、フィールドワーク（現地調査）

教材提供　：日本宇宙少年団苫小牧分団　藤島豊久氏
協力　：財団法人日本宇宙少年団 YAC　株式会社学習研究社
発行　：宇宙航空研究開発機構　宇宙教育センター
財団法人日本宇宙フォーラム
©JAXA2012　無断転載を禁じます